

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri, rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2021

Mikael Piirainen

HIRSIRAKENTEIDEN SUUNNITTELU

–laajennusprojekti

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

20.12.2021 | 32 sivua, 5 liitesivua

Mikael Piirainen

HIRSIRAKENTEIDEN SUUNNITTELU

- laajennusprojekti

Tässä opinnäytetyössä käsitellään pääosin perinteisen itsehöylätyn pyöröhirsirakennuksen suunnitteluun liittyviä seikkoja, jota tulee ottaa huomioon mm. laajennussuunnittelussa. Työssä esitetään myös hirsirakenteisiin liittyviä rakenteita kuten alapohjatyyppejä ja yläpohjan toiminnallisuuteen liittyviä seikkoja sekä katopalkkien kestävyyslaskentaa. Työssä käytetään esimerkkinä 1970-luvulla rakennetun hirsirakennuksen laajennusprojektia. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on antaa tietoisuus hirsirakentamisen ominaispiirteistä hirsirakennuksen suunnitteluun ryhtyvälle tai hirsirakenteista kiinnostuneelle.

ASIASANAT:

Hirsirakentaminen, hirsiseinä, painuminen, laajennus.

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Bachelor of Civil engineering

20.12.2021 | 32 pages, 5 pages in appendices

Mikael Piirainen

DESIGN OF LOG BUILDING

- Expansion project

This thesis mainly deals with aspects related to the design of a traditional log building. Expansion project of the in 1970s build traditional log building is used as an example for designing. The work provides information of the flooring types, designing of the log walls, functionality and designing of the roof structure and foundations. The purpose of the thesis is to provide information on the characteristics of log construction to those with the intention of designing one or are interested in the design of a log building.

KEYWORDS:

Log buildind, log wall, sagging, expansion.

SISÄLTÖ

KÄYTETTY SANASTO	7
1 JOHDANTO	1
2 YLEISTÄ HIRSIRAKENTAMISESTA	3
2.1 Käytettävyys	3
2.2 Ominaispiirteet	3
2.3 Kosteuskäyttäytyminen	4
2.4 Painuminen	4
2.5 Halkeilu	5
2.6 Tiiveys	5
2.7 Hirsirakenteiden energiatehokkuus	6
3 RAKENNETYYYPIT	8
3.1 Perustukset	8
3.1.1 Perustuksien ominaisuudet hirsirakentamisessa	8
3.1.2 Perustuksien suunnittelu	8
3.2 Alapohja	9
3.2.1 Yleistä	9
3.2.2 Rossipohja	9
3.2.3 Maanvarainen alapohja	10
3.2.4 Tyypillisiä alapohjan liitoksia hirsirakennuksessa	10
3.3 Ulkoseinät	12
3.3.1 Seinärakenteen ominaisuudet	12
3.3.2 Seinän toimintaperiaatteet	12
3.3.3 Seinien jäykistys	12
3.3.4 Hirsiseinän liitos perustuksiin	13
3.3.5 Hirsiseinän jatkaminen	14
3.3.6 Vaarnatapit	15
3.4 Yläpohja	16
3.4.1 Hirsirakennuksen yläpohja	16
3.4.2 Yläpohjan lämmöneristys	18
3.4.3 Höyrynsulku	18
3.4.4 Yläpohjan tuuletus	18

4 ESIMERKKIKOHDE	19
4.1.1 Kohteen lähtötiedot	19
4.1.2 Laajennusosa	19
5 KUORMAT	21
5.1 Lumikuorma	21
5.2 Tuulikuorma	24
6 MITOITUS	26
6.1 Kattopalkkien kestävyys	26
6.2 Hirsiseinän kestävyys	29
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	31
LÄHTEET	32

LIITTEET

Liite 1. Kattopalkkien kestävyys.

Liite 2. Hirsiseinän kestävyys.

KAAVAT

Kaava 1. Lumikuorman laskentakaava.	21
Kaava 2. Tuulikuorman ominaisarvon laskentakaava	23
Kaava 3. Hoikkuusluku voimakertoimen määrittämiseen.	24
Kaava 4. Taivutuskestävyyden mitoitussehto.	26
Kaava 5. Taivutusjännityksen laskentakaava.	27
Kaava 6. Taivutuskestävyyden laskentakaava.	27
Kaava 7. Leikkauskestävyyden mitoitussehto	27
Kaava 8. Leikkausjännityksen laskentakaava.	28
Kaava 9. Leikkauskestävyyden laskentakaava.	28
Kaava 10. Hirsiseinän ristinurkan kantavuus.	29
Kaava 11. Ristinurkan kantavuus.	30
Kaava 12. Seinähirren kantavuus.	30
Kaava 13. Koko hirsiseinän kantavuus.	30

KUVAT

Kuva 1. Esimerkkejä pysty- ja vaakarakenteisista hirsiseinistä.	3
Kuva 2. Esimerkki läpivienneissä käytettävästä tiivistyslaipasta putken ympärillä.	6
Kuva 3. Hirren ekvivalentin paksuuden selvittämiseen tarvittavat mitat.	7
Kuva 4. Rossipohjan ilmanvaihtuvuus ilman tiheyserojen vaikutuksesta.	9
Kuva 5. Rossipohjaisen alapohjan liitos seinään ja perustuksiin.	10
Kuva 6. Maanvaraisen alapohjan liitos ulkoseinään ja perustuksiin	11
Kuva 7. Esimerkkejä hirsiseinän jäykistystavoista.	13
Kuva 8. Tappipäinen puskuliitos.	14
Kuva 9. Alimman hirsikerran liitosesimerkki.	15
Kuva 10. Hirsiseinän painumasta aiheutuva vaakasiirtymä.	16
Kuva 11. Esimerkki kattopalkin liukukiinnikkeestä.	17
Kuva 12. Esimerkkikohteen julkisivut.	19
Kuva 13. Pohjapiirustus sisältäen laajennettavan rakennusosan.	20
Kuva 14. Lumikuorman muotokerroin.	21
Kuva 15. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot s_k .	23
Kuva 16. Maastoluokat.	25
Kuva 17. Nopeuspaineen ominaisarvot.	25

TAULUKOT

Taulukko 1. Tuulensuojaisuuden korotuskertoimet.	22
Taulukko 2. Voimakerrointaulukko.	24

KÄYTETTY SANASTO

hirsi	kokopuinen rakennusmateriaali, jonka kuori on höylätty veistetty tai sorvattu. Hirsi voidaan tehdä kulmikkaaksi tai pyöreäksi ja sitä voidaan käyttää massiivipuuna tai useammasta osasta yhteen liimattuna. (Puuinfo. Hirsirakenteet. Hirsirakentamisen määritelmiä)
karapuu	hirsiseinän aukkojen pieliin liikuntavarauksella asennettava, painuman salliva ja hirsiseinän sivusiirtymien estävä ja kuormia vastaanottava pystypuu, johon painumattomat rakenteet kiinnitetään. (Puuinfo. Hirsirakenteet. Hirsirakentamisen määritelmiä)
painuma	puun kosteuskäyttäytymisestä, saumojen tiivistymisestä ja kuormista aiheutuva seinän laskeutuminen. (Puuinfo. Hirsirakenteet. Hirsirakentamisen määritelmiä)
salvos	toisiinsa tukeutuvien hirsien liitoskohta. (Puuinfo. Hirsirakenteet. Hirsirakentamisen määritelmiä)
vaarnatappi	hirsiseinän sivusiirtymiä estävä puinen tai metallinen tappi, joka porataan hirsikertojen väleihin. (Puuinfo. Hirsirakenteet. Hirsirakentamisen määritelmiä)

1 JOHDANTO

Suomen tiettävästi vanhin hirsirakennus on Pyhä Henrikin saarnahuone, joka on säilynyt 1400-luvulta saakka. Hirsirakentamista on siis harjoitettu jo hyvin pitkään. Hirttä käytettiin laajalti rakennuksien pääasiallisena rakennusmateriaalina aina 1920-luvulle saakka. 1940-luvulla hirsirakentaminen väheni rankarakenteisten talojen rakentamisen myötä. Sen jälkeen rankarakentaminen tuli pääasialliseksi rakennustyyppiä ja hirsirakentamista jatkettiin pääosin vain vapaa-ajan rakennuksissa. 1950-luvulta alkaen hirsirakentaminen siirtyi laajalti teolliseksi hirren valmistukseksi. Uusia keinoja hirsirakenteiden tiiveyteen, kutistumiseen, lämmöneristämiseen ja painumisen hallintaan löydettiin 1970–1980-luvulla. Nykyään hirsirakennuksia tehdään monenlaiseen käyttötarkoitukseen ja käyttö on lisääntymässä julkisissa rakennuksissa ja kerrostalokohteissa. (Siikanen 2016, 333)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hirsirakenteiden suunnitteluun liittyviä asioita, joita tulee ottaa huomioon muun muassa laajennussuunnittelussa. Työssä käytetään esimerkkinä 1970-luvulla rakennettua vapaa-ajan hirsirakennusta, johon on tarkoituksena tehdä laajennussuunnittelu. Työssä esitetään yksinkertaisen hirsiseinän kestävyyslaskentaa sekä perehdytään hirsirakenteiden suunnitteluun. Työssä esitetään myös ylä- ja alapohjan liitoskohdat hirsirakenteisiin sekä hirsirakenteen perustustapoja ja liitosdetaljeja.

Opinnäytetyössä keskitytään pääosin perinteisen itse höylätyn pyöröhirsiseinän suunnitteluun ja mitoittamiseen liittyviä asioita, joita tulee huomioida muun muassa laajennussuunnittelussa. Työssä esitetään yksinkertainen esimerkki hirsiseinän kantavuuden laskennasta, joka perustuu VTT-tutkimuselostuksen mukaisiin hirsiseinän koekuormitusten ohjearvoihin. Hirsiseinän painumat ovat yksi keskeisimmistä hirsirakenteen eroavaisuuksista rankarakenteisen talon suunnitteluun, joten työssä esitetään tapoja, joilla painumia saadaan hallittua.

Yläpohjalle hirsirakentamisessa ei ole yhtä tiettyä mallia, mutta yläpohjan suunnittelusta esitetään esimerkki painumasta aiheutuvien sivusiirtymien salliminen ja hallinta sekä kosteus- ja lämpötekniisiä huomioita. Työssä käydään läpi myös yläpohjapalkin kestävyyslaskentaa murtorajatilassa.

Myös alapohjan suunnittelu myötäilee laajalti puurakenteiden suunnittelun ohjeita ja normeja, mutta työssä esitetään esimerkkejä maanvaraisen ja rossipohjan eli tuulettuvan alapohjan liitoskohdista hirsirakenteeseen ja perustuksiin sekä toiminnallisuuden

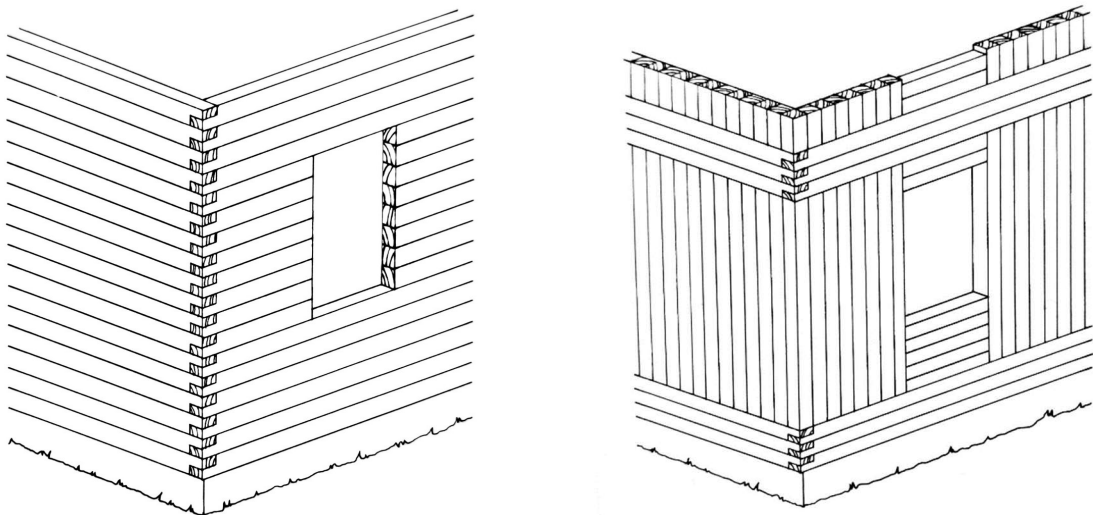
kannalta tärkeitä seikkoja. Perustuksista käydään läpi hirsirakenteelle tärkeitä muodon säilyttämisen menetelmiä.

2 YLEISTÄ HIRSIRAKENTAMISESTA

2.1 Käytettävyys

Hirsirakenteet voivat olla kantavia tai ei-kantavia pysty- tai vaakarakenteita (kuva 1). Hirsirakenteita tehdään useimmiten suorasta tasapaksusta puusta, mutta myös mutkainen puu on mahdollinen rakenne. Hirsirakenteissa kuitenkin paras laatu saadaan aikaiseksi käyttämällä suoraa ja tasapaksua puuta. (Puuinfo 2020)

Seinärakenteissa on mahdollista rakentaa hirret pystyyn tai vaakaan, mutta pystyyn rakennettavia hirsiseiniä ei tyypillisesti suunnitella lämpimiin rakennuksiin, sillä puun kosteuskäyttäytyminen aiheuttaa hirsien väleihin rakoja, jotka sulkeutuvat vaakarakenteissa hirsiseinässä painuman vaikutuksesta. (Siikanen 2016, 279–280)



Kuva 1. Esimerkkejä pysty- ja vaakarakenteisista hirsiseinistä (Siikanen 2016, 280).

2.2 Ominaispiirteet

Suomessa on yli 600 000 metsänomistajaa, joiden metsissä puuta kasvaa keskimäärin 6,5 m³/ha. Tästä puustosta n. 80 % on arvokasta tukkipuuta. Suomen puustosta löytyy juuri hirsirakentamiseen halkaisijaltaan sopivan paksuista, suoraa ja lähes tasapaksuisia tukkipuita jopa 15 metrin matkalta. (Perälä 2019)

Hirsirakenne voidaan tehdä ohuista tai paksuista puista. Ohut noin 15 cm halkaisjan omaava puu on kevyt siirrettävä ja käsiteltävä, mutta ulkonäkö tällä paksuudella voivat jakaa mielipiteitä. Siitä tuplasti halkaisijaltaan paksumpi 30 cm:n paksuinen puu on jo niin massiivinen, että sillä työstäminen lihasvoimin alkaa olla haastavaa. (Perälä 2019)

Hirsi on pääasialliselta käyttötarkoitukseltaan kantava seinärakenne, mutta sitä voidaan myös käyttää ei-kantavana. Hirsi on kuitenkin kustannuksiltaan arvokasta, joten esimerkiksi väliseinät ovat kustannustehokkaampaa tehdä kevyinä kipsilevyseininä. Hirsirakenteiden suunnittelussa erityishuomiota tulee kiinnittää painumisen ja halkeilun hallintaan. Muuten hirsirakenteiden suunnittelussa pääasiassa mukailaan puurakenteiden suunnittelun ohjeita ja normeja. Suomen puuston mahdollistama yhtenäisen hirsiseinän enimmäispituus on noin 7 metriä, mutta paljon pidempiäkin seiniä saadaan muun muassa sormijatkoksilla, teollisilla valmisteilla sekä lamellihirsillä. Pidemmät hirsiseinät vaativat poikittaisjäykisteitä. (Puuinfo 2020)

2.3 Kosteuskäyttäytyminen

Hirsi on materiaalina hygroskooppinen, joka tarkoittaa, että se pystyy diffuusiolla vastaanottamaan ja luovuttamaan vesihöyryä ympärillä olevan suhteellisen kosteuspitoisuuden vaihdella. Massiivipuurakenteena hirsi vaimentaa huoneilmassa kosteuden vaihteluja tehokkaasti. Tutkimusten mukaan huoneilman suhteellinen kosteuspitoisuus olisi hyvä olla 30–60 %, sillä huoneilman kosteus vaikuttaa hygieniaan ja terveyteen. Puun vapauttaessa kosteutta tapahtuu kuivumiskutistusta. Syiden suuntainen kuivumiskutistuma hirressä on pientä säteen ja kehän suuntaiseen kutistumiseen verrattuna. Hirressä kutistuminen sen kehän suunnassa on kaksinkertaista verrattuna sen säteeseen. Tämä aiheuttaa jännityksiä ja kun ne ylittävät puun vetolujuuden, se aiheuttaa halkeamia. Halkeamien myönteinen vaikutus on se, että ne laajentavat puun kosteuspinta-alaa, jonka ansiosta sisäilman kosteusvaihtelut pienenevät entisestään. (RT 82-11168)

2.4 Painuminen

Hirren kuivuminen, saumojen asettuminen rakenteessa ja rakennuksen kuormat aiheuttavat hirsiseinärakenteeseen painumista. Painumista tapahtuu jokaista korkeusmetriä kohden 10–50 mm, joka riippuu hirren laadusta. Painuminen tulee ottaa huomioon kaikissa hirsirakenteisiin liittyvissä painumattomissa rakenteissa, kuten rankarakenteisissa

väliseinissä, ikkuna- ja oviaukkojen liittymäkohdissa, kalusteissa, portaissa ja muuruissa rakenteissa. Pyöröhirren painuminen on huomattavasti suurempaa kuin lamellihirren. Pyöröhirsirakennuksen oviaukkojen päälle tulee jättää 100 mm painumavara, sillä useimmiten n. 60-70 mm painuman päälle tulee jättää vielä eristeelle tilaa. (RT 82-11168, 4) Myös liian runsas tilkitseminen voi jäädä rakennusvaiheessa kantamaan seinärakennetta, joka voi lisätä painumista entisestään. (Siikanen 2016, 345)

Rakennuksen sisäpuolisissa seinissä, kuten väliseinissä, painumista tapahtuu huomattavasti enemmän kuin ulkopuolisissa, koska sisätiloissa suhteellinen kosteuspiitoisuus on pienempi ja puun kuumumisesta aiheutuva kutistuminen on suurempaa. (Siikanen 2016, 353)

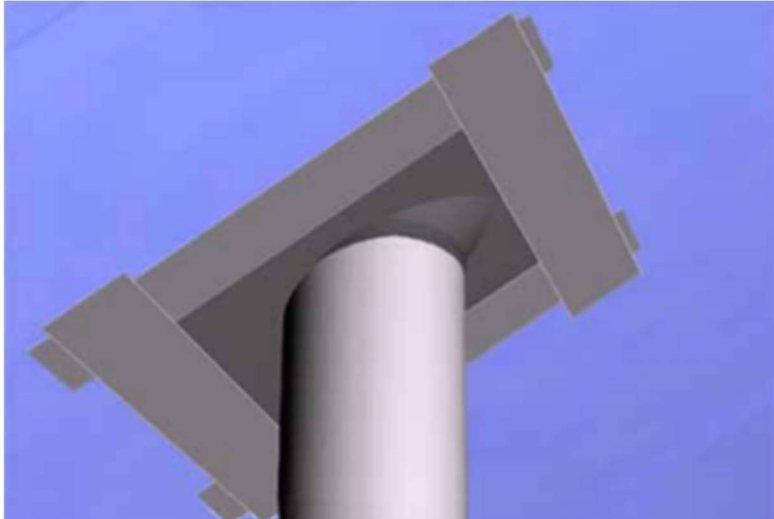
Painuminen tulee ottaa huomioon myös rakennuksen kalustamisessa, niin että esimerkiksi seinään kiinnitettävät kaapit tulee kiinnittää vain yhdestä hirsikerrasta. (Siikanen 2016, 355)

2.5 Halkeilu

Hirsirakennus on hyvä rakentaa tuoreista tukeista, niiden työstettävyyden ollessa silloin helpompi. Hirsipuussa halkeilua tapahtuu sen kosteuskäyttäytymisestä johtuvista jännityksistä. Tyypillisesti halkeamat muodostuvat näkyvälle pinnalle, sillä kyseisissä kohdissa on vähiten halkeamien muodostumista vastustavaa puuta. Halkeilun laajuuteen vaikuttavat hirren paksuus ja kosteus. Halkeilun vaikutus on tyypillisesti vain esteettinen. Näkyvälle pinnalle muodostuvia halkeamia voidaan rajoittaa tekemällä halkeamia saumojen sisäpuolelle ennen niiden paikalleen latomista. (Siikanen 2016, 344)

2.6 Tiiveys

Vaikka hirsirakenne on ladottu useista tukeista päällekkäin, sen tulee olla yhtäläillä tiivis kuin muutkin rakenteet (RT 82-11168). Hirsirakenne saadaan tiiviksi muotoilemalla hirsien varaukset huolellisesti myötäilemään vastakappaletta ja käyttämällä hirsien saumojen väliin soveltuvia tiivisteitä. Ilmantiiveyden varmistamiseksi tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteiden liittymäkohtiin ja läpivienteihin. Läpivientireiät on hyvä tiivistää esimerkiksi tiivistyslaippojen (kuva 2) avulla, jotka mukautuvat mm. pyöröhirsirakenteessa oleviin pyöreisiin muotoihin hyvin. (Puuinfo 2020)

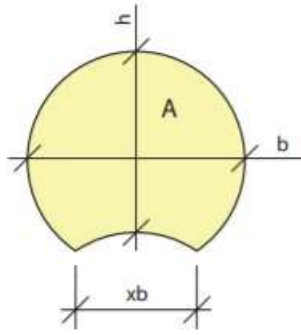


Kuva 2. Esimerkki läpivienneissä käytettävästä tiivistyslaipasta putken ympärillä. (RT 82-11168)

2.7 Hirsirakenteiden energiatehokkuus

Vapaa-ajan loma-asunnoissa, joissa ei ole tarvetta lämmitykselle ympäri vuoden ei ole määritelty energiatehokkuusvaatimuksia. Sama pätee myös alle 50 m²:n rakennuksia. Muuten energiatehokkuus määräytyy asunnon kokoon nähden. Pinta-alaltaan 50–120 neliömetrin rakennuksien tulee E-luvultaan täyttää 229 kWh/m² vaatimus vuodessa. Tästä suuremmat aina 600 m²:n rakennuksiin lasketaan omalla kaavalla pinta-alaan suhteutettuna. Yli 600 m² rakennuksille on määritetty E-luvultaan 155 kWh/m² vaatimus vuotta kohden. (Puuinfo 2020)

Pyöröhirsiseinän energiatehokkuuden laskennassa käytetään hirren ekvivalenttipaksuutta eli tasapaksun höylähirsiseinän vastaavaa paksuutta. Hirren geometrinen ekvivalentti paksuus saadaan laskettua kaavalla A/h (kuva 7) (RT 82-11168)



Kuva 3. Hirren ekvivalentin paksuuden selvittämiseen tarvittavat mitat. (RT 82-11168)

3 RAKENNETYYPIT

3.1 Perustukset

3.1.1 Perustuksien ominaisuudet hirsirakentamisessa

Hirsirakenteet perustukset toteutetaan tyypillisesti pilari- tai perusmuuriperustuksina (Siikanen 2016, 336). Mahdollisuuksien mukaan hirsiseinän ja perustusten väliin on hyvä tehdä tasausvalu, joka helpottaa hirsiseinän ladontaa mittatarkkusvaatimusten saavuttamiseksi. Kerroskohtaista tasausmenetelmää hirsirakenteisessa seinässä ei kuitenkaan ole, jolla vino runko saataisiin oikaistua. Tämän takia hirsirungon asennuksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota suoruteen alhaalta ylös asti. (Puuinfo 2020)

3.1.2 Perustuksien suunnittelu

Perustuksia suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota maaperän kosteusteknisiin ominaisuuksiin ja kantavuuteen. Rakennusta kohti johtavat pintavedet tulee ohjata pois seinustoilta pinnan muotoilun ja salaojitusten avulla. Esimerkkikohteeseen suunniteltavassa maanvaraisessa alapohjassa tulee ottaa huomioon lattian korkeus, joka tulee olla 0,3 metriä ylempänä rakennusta ympäröivään maanpintaan nähden. (RT 82-10868, 3). Jos lattian korkeusasema on tätä lähempänä, perusmuuri tulee vedeneristää (RT 81-10854, 2).

Rakentamismääräyskokoelman mukaan anturan tulee olla vähintään 0,5 metriä vieressä olevan maanpinnan alla ja perusmuurianturan leveys tulee olla vähintään 0,3 metriä. (RT 81-10854, 3)

Perustusten ja alapohjan liittymäkohdissa tulee kiinnittää erityistä huomiota tiivyyteen, jotta radonvuodot saadaan estettyä asuintiloihin. Maanvaraisen laatan ja perusmuurin välille asennetaan bitumikermi, jonka asennuksessa tulee huomioida perustuksien mahdollisen elämisen vaikutus, niin ettei bitumikermi rikkoudu ja mahdollista radon vuotoja asuintiloihin. (Siikanen 2016, 237).

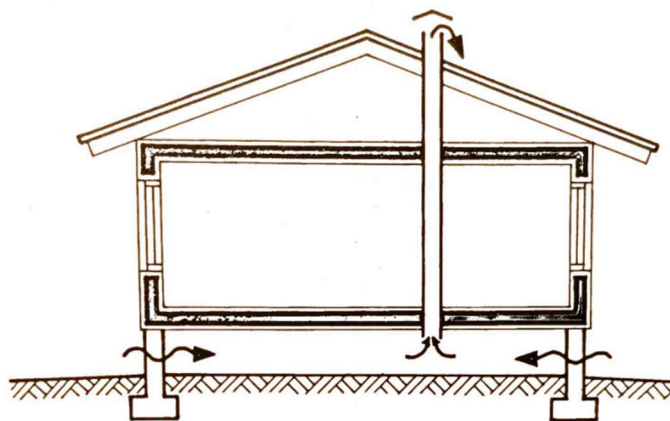
3.2 Alapohja

3.2.1 Yleistä

Hirsirakennuksilla ei ole tiettyä alapohjatyyppejä, vaan alapohjan suunnittelu mukaillee puurakenteiden suunnittelun ohjeita ja normeja. Alapohjan suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota alapohjan tuulettamiseen, eristämiseen ja tiivistämiseen energiatehokkuuden maksimoimiseksi sekä radonvuotojen torjumiseksi. Mikäli alapohja toteutetaan puurunkoisena, lämmöneristeenä suositellaan käytettävän puupohjaisia eristeitä puun suotuisan kosteuden sitomisen ja vapauttamisen maksimoimiseksi. Tyypillisesti tarpeellinen ilmanpitävyys saadaan aikaiseksi esimerkiksi vuorauspaperilla. (Siikanen 2016, 336)

3.2.2 Rossipohja

Rossipohja tarkoittaa tuulettuvaa alapohjaa, joka tukeutuu palkkeihin tai perusmuuriin. Tuulettuvan tilan korkeus on tyypillisesti 0,4-1,0 metriä. Rossipohjan tuuletus toteutetaan perustuksiin tehtävien tuuletusreikien avulla. Tuulettuvan tilan ilmanvaihtuvuutta voidaan tehostaa esimerkiksi ohjaamalla ilmavirtaus eristettyä putkea pitkin vesikatolle (kuva 4). Kyseisen putken toiminta perustuu ilman tiheyseroon tuuletustilan ja ulkoilman välillä. Tuulettuvassa alapohjassa on syytä varmistaa hyvä tiiveys liitoskohdista, jotta vältetään lattian läpäiseviltä ilmavuodoilta rakennuksen sisätilaan. (Siikanen 2016,



240)

Kuva 4. Rossipohjan ilmanvaihtuvuus ilman tiheyserojen vaikutuksesta (Siikanen 2016, 243).

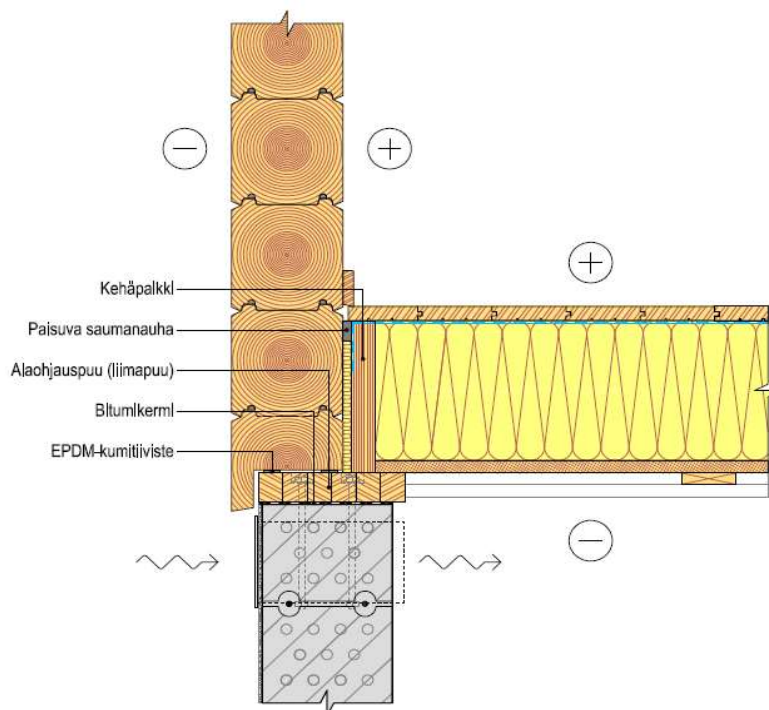
3.2.3 Maanvarainen alapohja

Maanvarainen alapohja tarkoittaa kantavan maakerroksen päällä makaavaa lattiarakennetta, jossa ei ole lainkaan tuuletustilaa. Maanvaraisessa alapohjassa pyritään pitämään lämpöhäviöt alhaisina ja vastaanottamaan mahdollisimman paljon maasta nousevaa lämpöä. Nämä tavoitteet savutetaan tyypillisesti korostamalla rakennuksen ulkopuolista maaeristeiden suunnittelua ja alapohjan reunaosien lämmöneristystä. Alapohjassa on myös tärkeää huomioida maakerroksissa tapahtuva kapilaarinen vedennousu toteuttamalla riittävä kapillaarikatko karkealla sorakerroksella. (Siikanen 2016, 251–252)

3.2.4 Tyypillisiä alapohjan liitoksia hirsirakennuksessa

Rossipohja

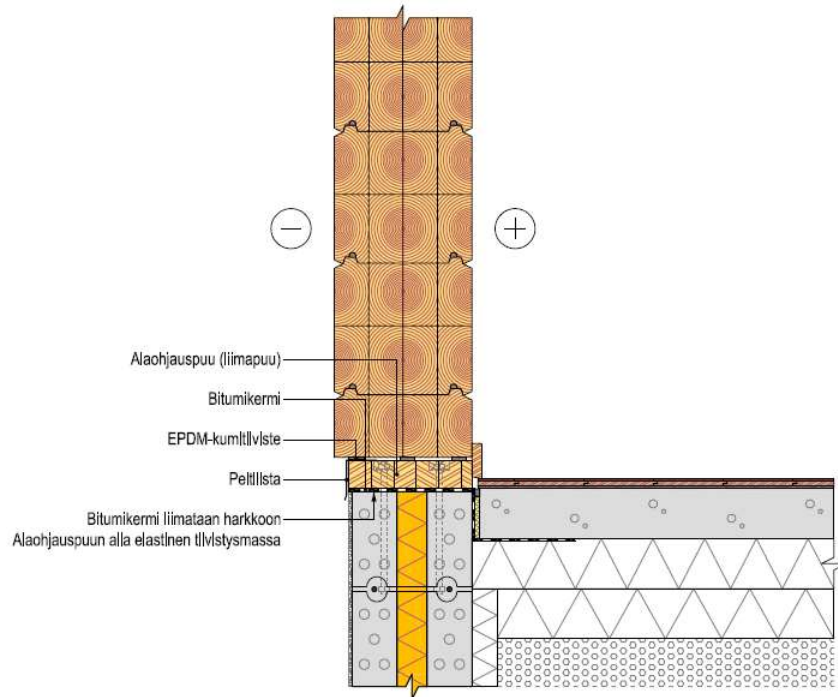
Kuten kuvassa 5 esitetään, perustuksen päällä suositellaan käytettävän alaohjauspuuta, jotta rossipohjan palkkien kiinnittäminen helpompaa perustuksiin. Hirsiseinän alin hirsi voidaan sahata alaohjauspuun päälle siten, että hirsien latominen alkaa perustuksien päältä. (Puuinfo 2020)



Kuva 5. Rossipohjaisen alapohjan liitos seinään ja perustuksiin. (Puuinfo 2020)

Maanvarainen alapohja

Maanvaraisen betonilaatan ja hirrenväliin tehdään elastinen saumaus. Bitumikermi ulottuu alaohjauspuun alta maanvaraisen betonilaatan alle, jotta rakenne pysyy ilmatiiviinä ja radonvuodot saadaan ehkäistyä. (kuva 6) (Puuinfo 2020)



Kuva 6 Maanvaraisen alapohjan liitos ulkoseinään ja perustuksiin. (Puuinfo 2020)

3.3 Ulkoseinät

3.3.1 Seinärakenteen ominaisuudet

Ulkoseinät hirsirakennuksessa pyritään toteuttamaan ilman lisäeristeitä. Kuitenkin tilanteissa, joissa parempi ääneneristävyys on tarpeellinen, tarvitaan lisää rakennekerroksia lisäämään ääneneristävyyttä ja energiatehokkuutta. Pientaloissa ei kuitenkaan äänieristysvaatimuksia ole, joten seinän rakennekerroksien suunnittelussa korostuu energiatehokkuusvaatimukset. Massiivipuuseinissä saadaan suhteellisen pienellä seinän paksuudella suuri U-arvo, jolloin muiden liitoskohtien, kuten ikkunoiden ja ovien energiatehokkuuteen tulee kiinnittää erityishuomiota. (Puuinfo 2020)

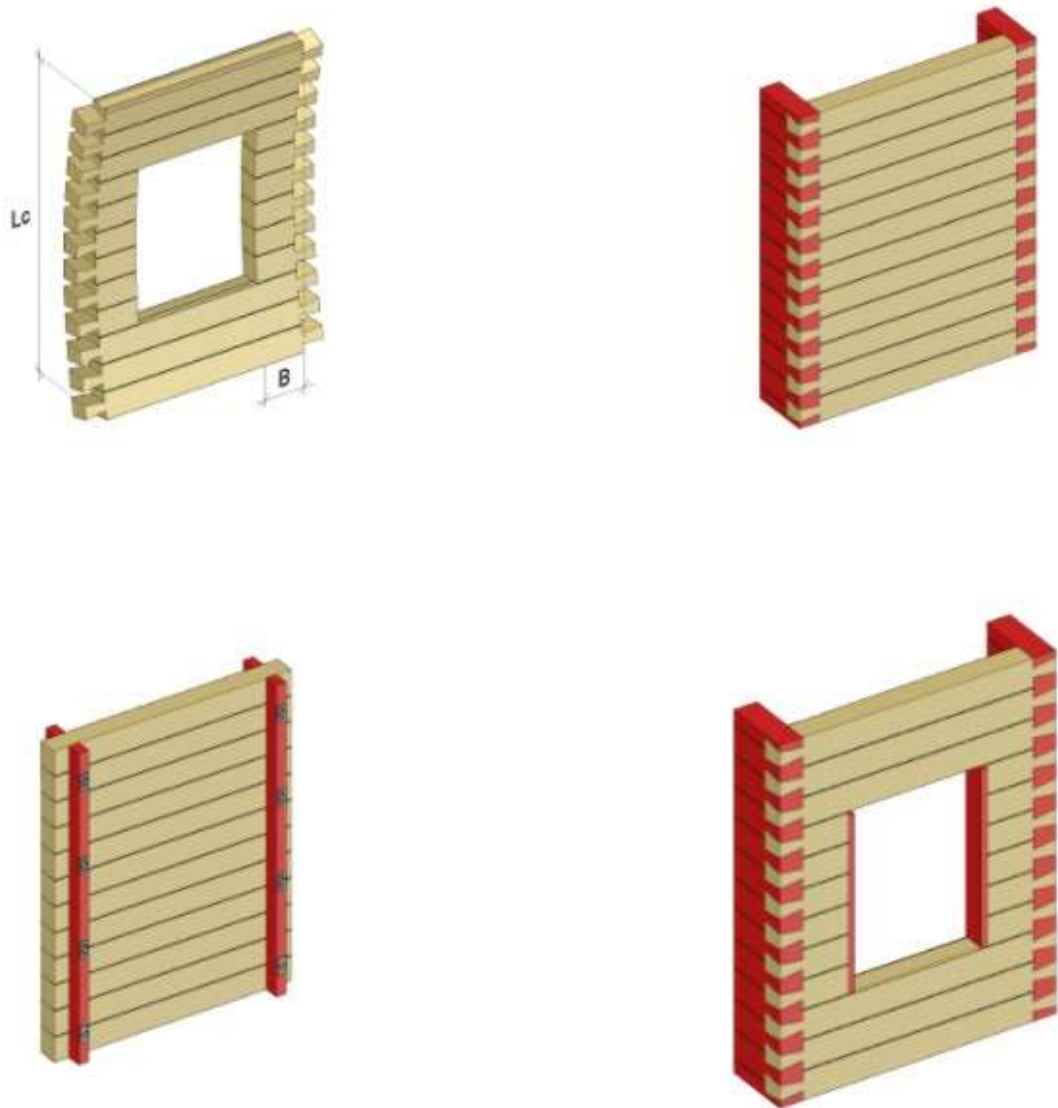
3.3.2 Seinän toimintaperiaatteet

Tyypillisesti kantava hirsiseinä toteutetaan jatkuvana rakenteena perustuksista aina yläpohjaan saakka ja vaakarakenteet kiinnitetään kantavan hirsirungon kylkeen. Rakenteen kestävyyttä rajoittavia tekijöitä ovat nurjahdus ja tukipainekestävyys. Tukipainekestävyys voi olla hirsiseinän mitoittava tekijä, joten sen tarkastamisen tärkeys korostuu mitoituksessa. Mikäli hirsirakennus on useampi kerroksinen, kantavien seinien tulee sijaita samassa linjassa alhaalta ylös jäykistämisen ja pystykuormien vastaanottamisen mahdollistamiseksi. (Puuinfo 2020)

3.3.3 Seinien jäykistys

Hirsiseinä voidaan toteuttaa kantavana seinänä, kun sen päät ja aukkojen pielet ovat jäykistetty esimerkiksi karapuilla tai pilastereilla (kuva 4). Hirsiseinällä ei ole taivutuskestävyyttä sen korkeussuunnassa, joten hirsirakenteeseen lisätään ruuveja tai vaarnatappeja, joiden avulla hirsirakenne toimii yhtenäisenä suorana rakenteena ilman taipumia. Myös hirsien salvokset toimivat toisiaan tukevana rakenteena, vastaanottaen toistensa korkeussuuntaista taivutusta. Näiden menetelmien avulla saadaan luotua

hirsiseinästä yhtenäinen rakenne. (Puuinfo 2020)



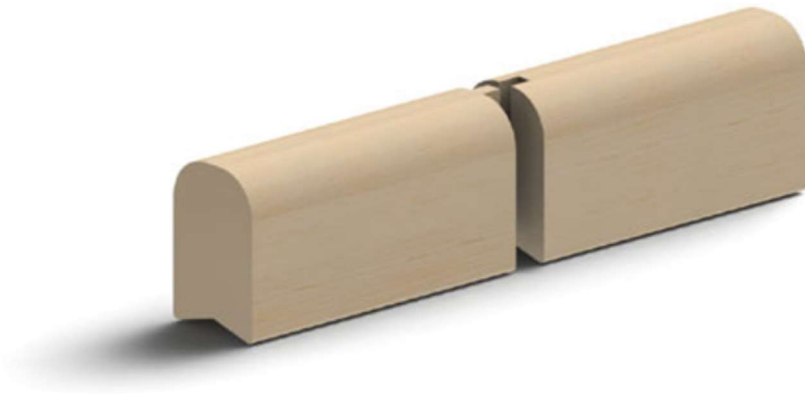
Kuva 7. Esimerkkejä hirsiseinän jäykistystavoista. (Puuinfo 2020)

3.3.4 Hirsiseinän liitos perustuksiin

Perustuksia valettaessa anturaan ankkuroidaan tartuntateräs, johon alin hirsi kiinnitetään. Alushirret eristetään perustuksien kapillariselta veden nousulta asentamalla bitumikermi väliin. (Siikanen 2016, 336). Alimman hirrenalle on myös hyvä laittaa elastinen saumausmassa tiivyyden varmistamiseksi (Puuinfo 2020).

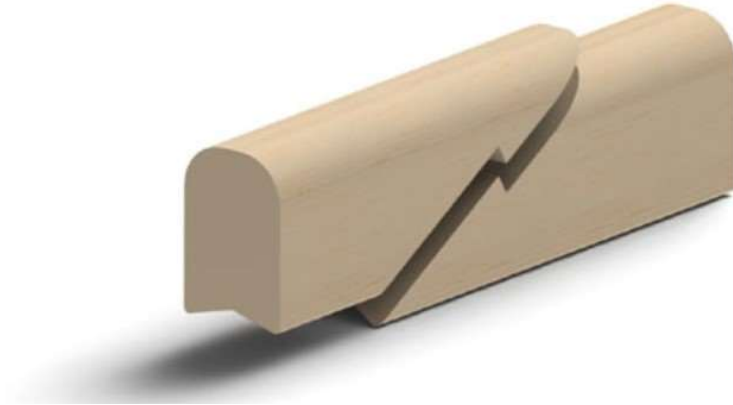
3.3.5 Hirsiseinän jatkaminen

Hirsiseinän jatkaminen toteutetaan tyypillisesti tappipäisellä puskuliitoksella (kuva 5, jossa toiseen hirteen tehdään suora hahlo ja vastakappale sahataan niin, että siihen muodostuu tappi. Kyseinen liitos mahdollistaa uuden seinän painumisen pystysuunnassa ja näin ollen ei aiheuta haitallisia muodon muutoksia seinä rakenteessa. (Puuproffa, Hirren jatkaminen)



Kuva 8. Tappipäinen puskuliitos. (Puuproffa, Hirren jatkaminen)

Mikäli hirsiiä tarvitsee jatkaa alimmassa hirsikerrassa, tulee hirsien jatkaminen tehdä vetoa kestävästä liitoksesta (kuva 6), sahaamalla molempiin hirsiin hahlot, jotka tukeutuvat toisiinsa. (Siikanen 2016, 336)



Kuva 9. Alimman hirsikerran liitosesimerkki (Puuproffa, Hirren jatkaminen)

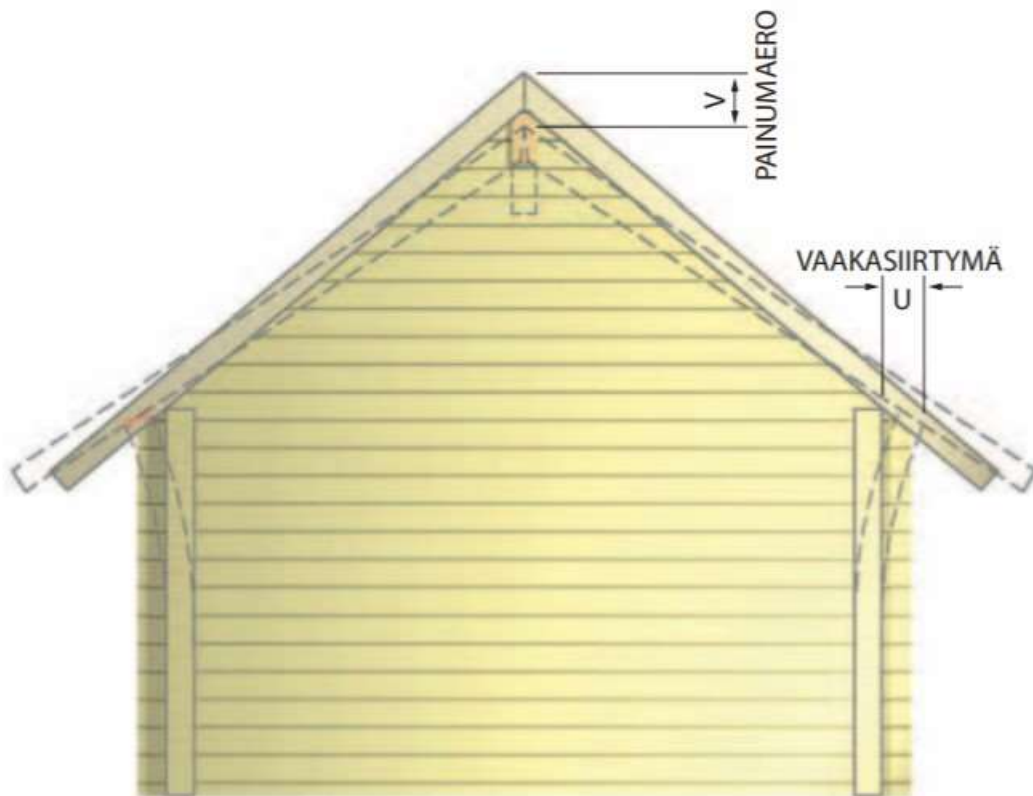
3.3.6 Vaarnatapit

Hirsirakenteessa vaarnatappeja tai pultteja käytetään lähes poikkeuksetta. Vaarnatapit tekevät hirsirakenteesta yhtenäisen seinän ja ne estävät rakenteen pullistumisen. Vaarnatappeja tulee lisätä vähintään 2000 mm:n välein seinärakenteen pituussuunnassa. (RT 82-11168). Vaarnatapille porataan reikä kiinnitettävästä hirrestä ja sitä alemmasta hirrestä läpi ja vaarna upotetaan aina ylemmän hirren selästä 50 mm alaspäin, jotta hirsi pääsee vapaasti painumaan. Alimpia hirsikertoja vaarnataan tiheämpään, niiden vastaanottaessa enemmän kuormia. Vaarnatappien suositellut välit hirsikertaa kohden ovat mäntyhirrelle 1 200–2 000 mm ja kuusihirrelle 800–1 300 mm. (Siikanen 2016, 341)

3.4 Yläpohja

3.4.1 Hirsirakennuksen yläpohja

Hirsirakennuksen yläpohjalle ei ole tiettyä rakennusmallia, joten sen voi toteuttaa hyvin monella eri tavalla. Kuitenkin yksi asia tulee aina huomioida painuvan hirren suunnittelussa, joka on painumisen salliminen. Hirsirakenteisessa seinässä kattokannattahien ylä- ja alapäiden olleessa kiinnitetty hirsiseiniin, painumat aiheuttavat seinien työntymistä ulospäin. Näin ollen kattotuolien asennuksessa tulee käyttää liukukiinnikkeitä, jotka sallivat niiden pituussuuntaisen liikkeen. (RT 82-11168)



Kuva 10. Hirsiseinän painumasta aiheutuva vaakasiirtymä (RT 82-11168)

Esimerkkikohteessa yläpohja toteutetaan palkkiyläpohjana, sillä tilaaja on halunnut saada mahdollisimman paljon huonekorkeutta, näin ollen yläpohja toteutetaan ilman kattoristikkorakennetta kurkihirren, seinärakenteen ja kattopalkkien varaan. Tässä tapauksessa painuminen voidaan sallia esimerkiksi tuille asennettavien liukukiinnikkeiden (kuva 11) avulla. Liukukiinnikke mahdollistaa kattopalkin pituussuuntaisen liikkumisen, jolloin painuminen pääsee vapaasti tapahtumaan ja vältetään seinien työntyminen ulospäin. (DigituoteTV 2016)



Kuva 11 Esimerkki kattopalkin liukukiinnikkeestä. (<https://www.k-rauta.fi/tuote/hirsike-prof-160x4090x60x40mm/5709416011277>)

3.4.2 Yläpohjan lämmöneristys

Yläpohjissa suositellaan käytettävän puhallettavia sekä levymäisiä puukuitueristeitä ja mineraalivillaa. Puukuituisten eristeiden etuna on sen hygroskooppinen rakenne, joka edistää kosteuden tasaamista yläpohjan tuuletustilassa ja mahdollisessa ullakotilassa. Puukuitueristeen kosteuden sitominen ei heikennä eristeen lämmöneristysominaisuuksia. Sen käyttö vaatii silti yhtä lailla huolellista tuuletusta kuin ei-puukuitueristeet. (Siikanen 2016, 270)

3.4.3 Höyrynsulku

Höyrynsulku on rakenteen toiminnalle riittävä vesihöyryn pitävä kerros. Tyypillisesti riittävä vesihöyryn pitävyys voidaan saada aikaiseksi vuorauspaperin avulla. Yläpohjarakenteen pitkäaikaiskestävyyttä voidaan edistää välttämällä muovikalvojen käyttöä, jonka arvioitu toiminnallinen kestoikä voi olla jopa neljäsosan pienempi. Yläpohjan tiiveys voidaan varmistaa varaamalla rimojen avulla höyrysulun alle 50 mm:n asennusväli, joka voidaan tarvittaessa lisäeristää. (Siikanen 2016, 268)

3.4.4 Yläpohjan tuuletus

Yläpohjassa tuuletuksen tarve määräytyy tuuletettavan tilan mukaan. Myös eristemateriaalin valinta voi aiheuttaa tuuletuksen lisäämistä. Esimerkiksi mineraalivillat vaativat enemmän tuuletusta kuin puukuitupohjaiset. Tuuletuksen ilmanvirtaukset perustuvat paine-erojen ja ilmantiheyserojen synnyttämiin ilmanvirtauksiin. (Siikanen 2016, 272)

Jotta ilma pääsee vaihtumaan tehokkaasti yläpohjan tuuletustilassa, ilman tulo- ja meno aukot tulee suunnitella huolellisesti räystäälle, harjalle tai tarvittaessa molemmille. Korkea räystäisen kattorakenteen tuuletusta lisätään tyypillisesti rakennuksen päätyihin asennettavien tuuletusaukkojen avulla. Räystäälle tehtävässä tuuletusaukossa on hyvä estää eläinten, hyönteisten ja tuiskulumen pääsy yläpohjan eristeiden päälle. Lämpimässä katossa suositellaan jätettävän tuuletustilaa lämmöneristeen ja aluskatteen väliin vähintään 100 mm korkuinen ilmarako. (Siikanen 2016, 273)

4 ESIMERKKIKOHDE

4.1.1 Kohteen lähtötiedot

Kohde on 1970-luvulla rakennettu hirsirakennus, joka sijaitsee Mikkelissä. Rakennus on toteutettu jatkuvan perusmuurin päälle ja alapohja on toteutettu maanvaraisena betoni-laattana. Seinät ovat ladottu käsinhöylätyistä tukeista, joten hirren paksuus on vaihtelevaa. Yläpohjapalkki tukeutuu harjalla sijaitsevaan kurkikirteen sekä seinärakenteeseen. Harjapalkki on koko matkaltaan umpilaudoitettu, jonka päälle on asennettu bitumihuopa ja peltikate.

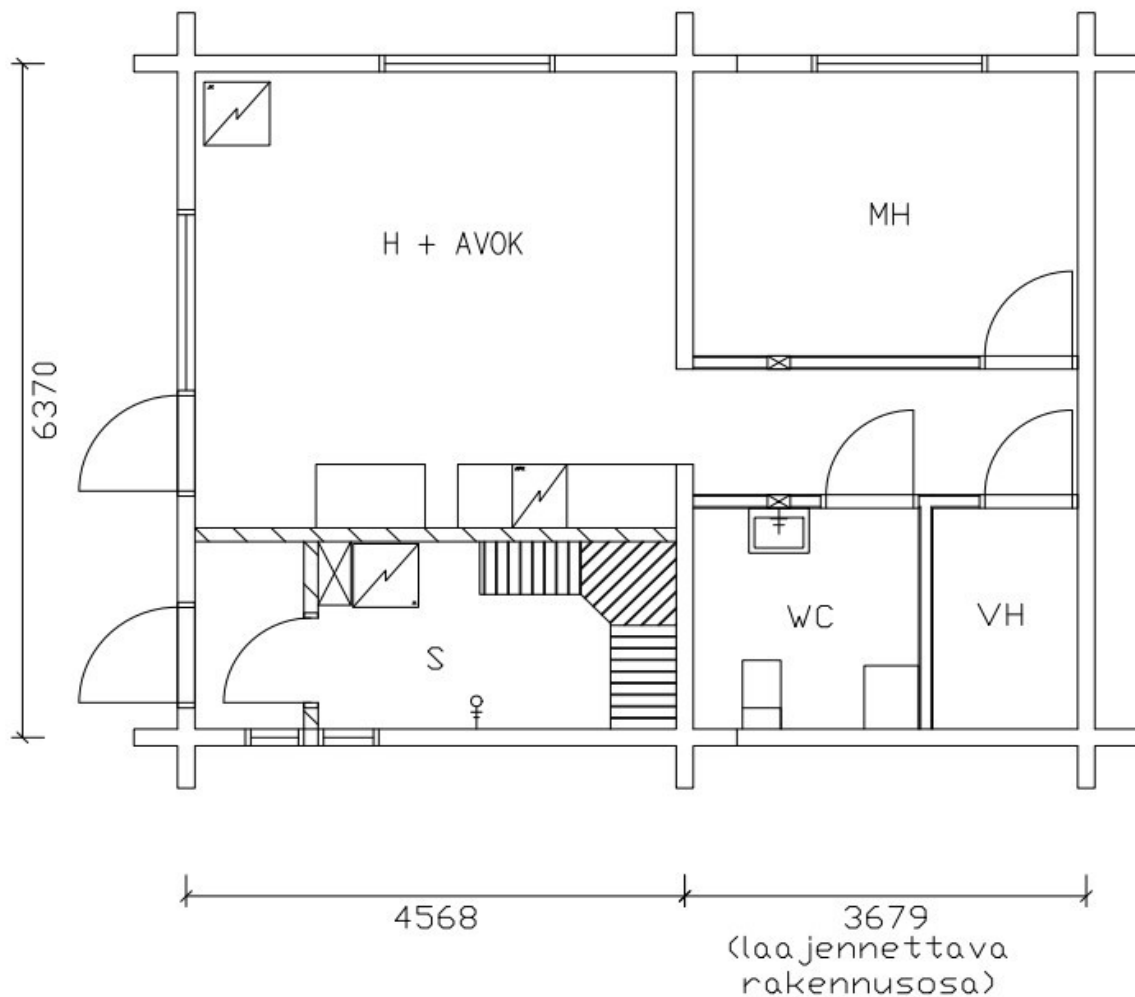


Kuva 12. Esimerkkikohteen julkisivut.

4.1.2 Laajennusosa

Rakennukselle tehdään laajennus ja tilaaja on toivonut, että rakennus pyritään tekemään mahdollisuuksien mukaan samalla tavalla kuin jo rakennettu osa. Olemassa oleva osa on vanha rakennus, eli rakennuksen suunnittelussa on käytetty vanhentuneita normeja, mutta laajennettava osa tehdään nykynormien mukaisesti, joka saattaa kasvattaa rakennekerrosten ja kantavien rakenteiden paksuuksia ja kokoja.

Laajennusosa sisältää WC-tilan, vaatehuoneen ja makuuhuoneen verran lisätilaa (kuva 13). Hirsirakennus ladotaan perinteisellä itse höylätyillä pyöröhirsillä. Laajennusosan yläpohjarakenne toteutetaan ilman ristikkorakennetta, ainoastaan pääkannattimien päällä makaavilla palkeilla, jotta huonekorkeus pysyy tilaajan toivomalla tavalla tilavamman tuntuksena, kuten vanhassa rakennusosassa. Alapohja rakenne toteutetaan maanvaraisena teräsbetonilaattana ja perustukset tehdään jatkuvana perusmuurina hirsirakennuksen perustusten suositusten mukaisesti. Laajennusosan väliseinät toteutetaan kevyinä kipsilevyseininä.



Kuva 13. Pohjapiirustus sisältäen laajennettavan rakennusosan.

5 KUORMAT

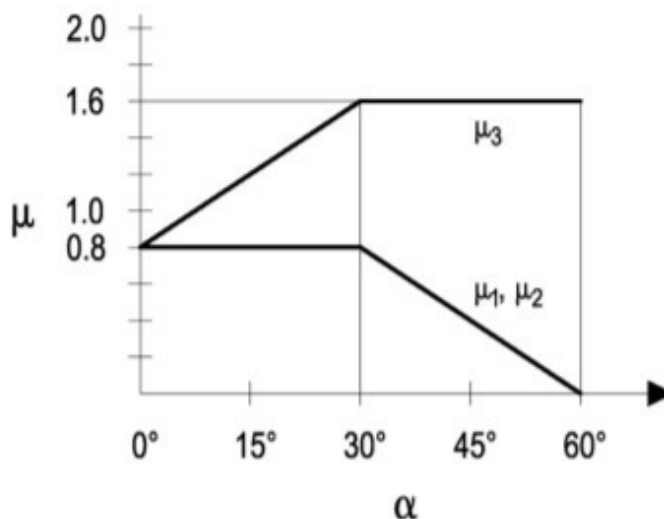
5.1 Lumikuorma

Lumikuorma (RIL 205-1-2017, 36) saadaan määritettyä kaavasta,

$$q_k = \mu_i \cdot C_e \cdot s_k \quad (1)$$

missä μ_i = lumikuorman muotokerroin
 C_e = tuulensuojaisuuskerroin
 s_k = maanpinnan lumikuorman ominaisarvo

Lumikuorman muotokerroin harjakatossa määräytyy katon kaltevuuden ja lumen kinostumisen mahdollisuuden mukaan. Koska esimerkki kohteessa kinostumista ei pääse tapahtumaan, voidaan muotokerroin μ_i määrittää kuvaajan μ_1 mukaisesti muotokerroinkuvaajasta (kuva 14). Esimerkki kohteessa katto toteutetaan kaltevuudeltaan 11 asteen kulmassa, joten muotokerroin $\mu_i = 0,8$. (RIL 205-1-2017, 39)



Kuva 14. Lumikuorman muotokerroin. (RIL 205-1-2017, 39)

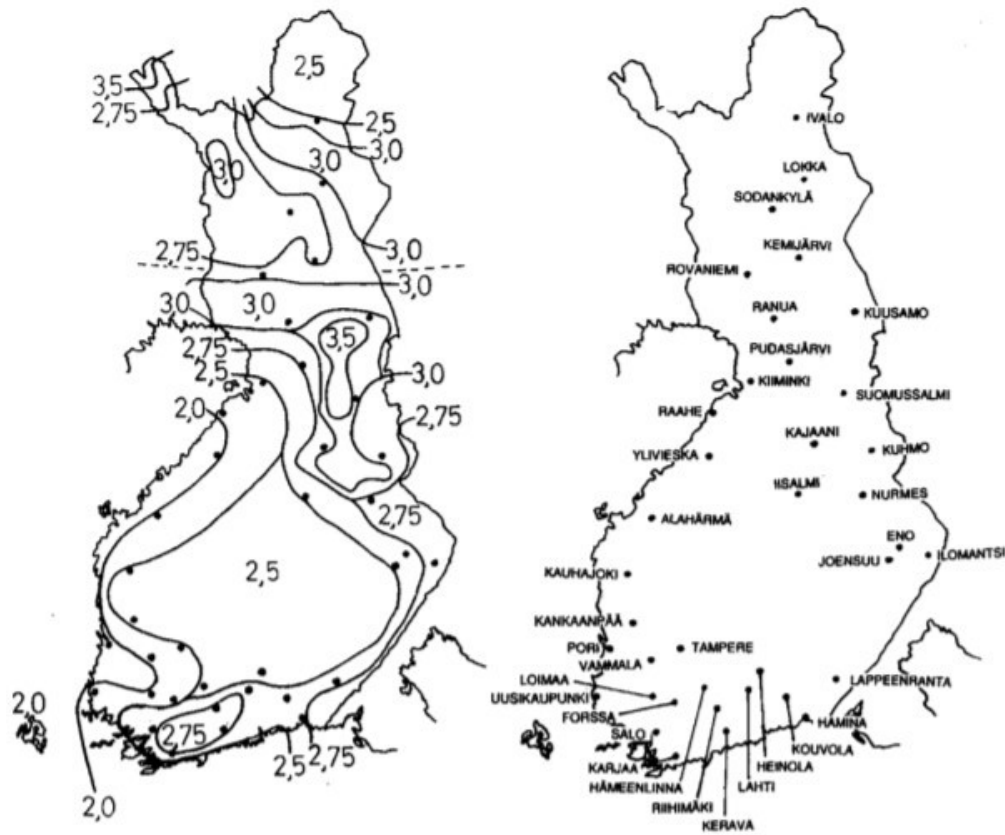
Tuulensuojakerroin määritetään kohteen sijainnin tuulensuojaisuuden mukaan. Tuulen suojaisuudet on määritetty eurokoodissa EN 1995-1-1 seuraavasti, joten esimerkkipoh-
teen ollessa normaalia maastoa, tuulensuojaisuuskerroin $C_e = 1,0$ (taulukko 1).

Taulukko 1. Tuulensuojaisuuden korotuskertoimet. (RIL 205-1-2017, 36)

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen	0,8 (1,0, mikäli lyhyempi sivumitta > 50 m)
Normaali	1,0
Suojainen	1,2

Tuulinen maasto: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.
 Normaali maasto: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.
 Suojainen maasto: alue, jolla tarkasteltava rakennuskohde on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo määräytyy kohteen sijainnin mukaan. Ominaisarvo on määritetty eurokoodissa EN 1995-1-1 seuraavasti (kuva 15),



Kuva 15. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot s_k (RIL 205-1-2017, 37)

joten esimerkkikohteen sijaitessa Mikkelissä, maanpinnan lumikuorman ominaisarvo $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$.

5.2 Tuulikuorma

Eurokoodissa EN 1995-1-1 esitetään yksinkertaistettu menetelmä tuulikuorman laske-
miseksi. Mikäli rakennuksen korkeus on alle 50 metriä, vaakasuuntainen kokonaistuuli-
kuorman ominaisarvo saadaan laskettua kaavasta (kaava 7),

$$F_{w,k} = c_f \cdot q_p(h) \cdot A_{ref} \quad (2)$$

missä c_f = rakenteen voimakerroin
 q_d = rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine
 A_{ref} = rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektio pinta-ala

Voimakerroin (RIL 205-1-2017, 43) c_f muodostuu rakennuksen hoikkuuden ja mittasuht-
teiden yhteisvaikutuksesta. Rakennuksen hoikkuus λ saadaan laskettua kaavasta,

$$\lambda = \begin{cases} 2 \cdot \frac{h}{b} \\ (2,25 - 0,017h) \frac{h}{b} \end{cases} \quad (3)$$

missä h = rakennuksen korkeus
 b = rakennuksen leveys tuulta vastaan kohtisuorassa suunnassa.

Näistä kahdesta kaavasta ylempää käytetään, kun rakennuksen korkeus on alle 15 met-
riä ja alemppaa käytetään rakennuksen korkeuden ollessa 15-50 metriä.

Rakenteen voimakerroin saadaan interpoloimalla lineaarisesti taulukosta 2,

Taulukko 2. Voimakerrointaulukko (Puurakenteiden suunnitteluohje 2017, 43)

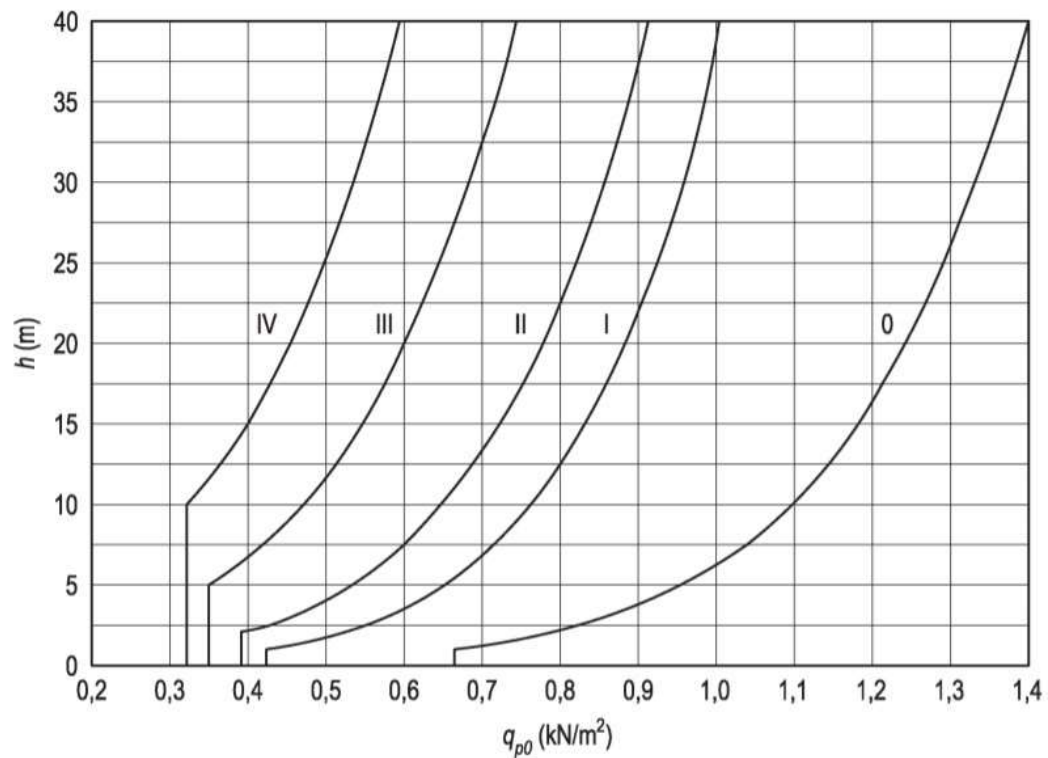
	Sivusuhte d/b								
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
19	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Tuulikuormalle on esitetty nopeuspaineen ominaisarvot q_{p0} eri maastoluokissa. Maastoluokat ovat määriteltä seuraavasti (kuva 16),

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Kuva 16. Maastoluokat. (RIL 205-1-2017, s. 43)

Kun maaston rosoisuus ja pinnanmuodon kuvaus on selvillä, voidaan nopeuspaineen ominaisarvo selvittää seuraavasta kuvaajasta (kuva 17),



Kuva 17. Nopeuspaineen ominaisarvot. (RIL 205-1-2017, 42)

6 MITOITUS

6.1 Kattopalkkien kestävyys

Tässä työssä esitetään kattopalkkien ja hirsiseinän mitoitus-esimerkit, joista käydään kaavoja läpi tässä kappaleessa ja laskuja liitteissä 1. ja 2.

Kattopalkkien murtorajatilan tarkastelussa tarkistetaan taivutus-, leikkaus-, ja kiepahdus-kestävyys. Esimerkkikohteessa yläpohja toteutetaan peltikattona, jonka alle ladotaan umpilaudoitus, eli palkit ovat koko matkaltaan estetty kiepahdukselta, joten kiepahdus-kestävyyden k_{crit} arvona voidaan käyttää arvoa 1. Näin ollen kattopalkkien kestävyys tarkistetaan vain taivutus- ja leikkauskestävyyden osalta. (RIL 205-1-2017, 85)

Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyyden mitoitusehto (RIL 205-1-2017, 74) lasketaan yhtälöllä 4.

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (4)$$

missä σ_d = taivutusjännitys

$f_{m,d}$ = taivutuskestävyys

k_m = kerroin, jolla huomioidaan ”jännitysjakautuman ja materiaalin epähomogeenisuuden vaikutuskahteen suuntaan taivutetun poikkileikkauksen taivutuskestävyyteen”.

Kyseinen kerroin k_m määräytyy sahatavaraalle, liimapuulle, LVL:lle j CLT:lle seuraavasti:

- suorakaidepoikkileikkauksille 0,7
- muut poikkileikkaukset 1,0.

Muille rakennusmateriaaleille käytetään kerrointa 1,0. (RIL 205-1-2017, 74)

Taivutusjännitys (RIL 205-1-205, 86) saadaan laskettua kaavalla 5.

$$\sigma_d = \frac{M_{Ed}}{W} \quad (5)$$

missä M_{Ed} = taivutusmomentin mitoitusarvo
 W = mitoitettavan profiilin taivutusvastus.

Taivutuskestävyys (RIL 205-1-2017, 48) saadaan laskettua kaavalla 6.

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (6)$$

missä k_{mod} = kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin
 $f_{m,k}$ = materiaalin taivutuskestävyyden ominaisarvo
 γ_M = materiaaliominaisuuden osavarmuusluku.

Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden mitoitusehto (RIL 205-1-2017, 74) yhtälön 7 mukaan.

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (7)$$

missä τ_d = leikkausjännitys
 $f_{v,d}$ = leikkauskestävyyden mitoitusarvo

Leikkausjännitys (RIL 205-1-2017, 93) saadaan laskettua kaavasta 8.

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \quad (8)$$

missä V_{Ed} = mitoittava leikkausvoima

A = mitoitettavan rakenteen profiilin pinta-ala.

Leikkauskestävyys (RIL 205-1-2017, 48) saadaan laskettua kaavalla 9.

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (9)$$

missä k_{mod} = kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin

$f_{v,k}$ = materiaalin leikkauskestävyyden ominaisarvo

γ_M = materiaaliominaisuuden osavarmuusluku.

Esimerkkikohteen kattopalkkien kestävyys lasketaan liitteessä 1. Esimerkkikohteen kattopalkkien mitoittavaksi tekijäksi muodostui taivutuskestävyys käyttöasteella 76,4

6.2 Hirsiseinän kestävyys

Hirsiseinän mitoitukseen on määritetty lähtöarvot ja edellytykset, joiden perusteella voidaan laskea seinän kantavuus ”RT 82-11168 Hirsitalon suunniteluperusteet”-kortissa esiintyvillä kaavoilla. Tällaiset mitoitus-suositukset ovat määritelty kyseisessä RT-kortissa seuraavasti:

1. Puristuslujuuden lähtöarvo on pienin murtohetken puristusjännityksistä eli 1,4 Mpa. Tämän arvonperusteella valitaan ominaispuristuslujuudeksi $f_{c,90,k} = 1,0$ Mpa.
2. Seinän korkeus on korkeintaan 3 metriä.
3. Ristinurkkien pituuden on oltava vähintään 600 mm, mutta laskelmissa ei hyödynnetä suurempaa pituutta.
4. Ristinurkkien väli on korkeintaan 8 metriä.
5. Kun ristinurkkien väli on 4...8 metriä, seinän kapasiteetti on sama kuin 4 metriä pitkän seinän kapasiteetti.
6. Höylähirren paksuus on vähintään 70 mm ja pyöröhirren paksuus on vähintään 130 mm.

Näiden mitoitus-suositusten ollessa voimassa myös esimerkkikohteessa, voidaan seinä mitoittaa seuraavilla kaavoilla (kaavat 10-13): (RT 82-11168, 7)

$$F_{ristinurkka} = 600 \text{ mm} \cdot f_{c,90,k} \cdot b_{ef} \quad (10)$$

missä $f_{c,90,k}$ = hirren puristuslujuuden ominaisarvo (1 MPa).

b_{ef} = 0,75 x seinän paksuus höylähirrelle ja 0,5 x seinän paksuus pyöröhirrelle.

Seinähirren kestävyys (RT 82-11168, 7) saadaan laskettua kaavalla 11.

$$F_{\text{seinähirsi}} = f_{c,90,k} \cdot L \cdot b_{ef} \quad (11)$$

missä L = seinähirren pituus, kun seinän pituus ≤ 4 metriä.

Seinähirren ollessa yli 4000 mm ja alle 8000 mm (RT 82-11168, 7), seinähirren kestävyys saadaan laskettua kaavalla 12.

$$F_{\text{seinähirsi}} = f_{c,90,k} \cdot 4000 \cdot b_{ef} \quad (12)$$

Koko seinän kestävyys saadaan laskettua nurkkien ja seinähirren summalla (kaava 13).

$$F_{\text{seinä}} = 2 \cdot F_{\text{ristinurkka}} + F_{\text{seinähirsi}} \quad (13)$$

Edellä esitetyt laskentakaavat perustuvat koeolosuhteissa testattuihin murtokuormiin. (RT 82-11168)

Esimerkkikohteen hirsiseinän kestävyys lasketaan liitteessä 2. Esimerkissä mitoitetaan yksinkertainen hirsiseinä, jonka pituus on noin 6,5 metriä. Pyöröhirren paksuus on esimerkkikohteessa 170 mm. Kestävyydeksi kyseiselle seinälle muodostui 68,0 kN/m.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli avata hirsirakenteiden suunnitteluun ominaisia piirteitä, joita hirsirakennukseen ryhtyvän ja siitä kiinnostuneen on hyvä tietää. Hirsirakennuksia on rakennettu jo pitkään vapaa-ajanrakennuksissa, mutta nyt niiden rakentaminen on yleistymässä omakotitaloissa ja julkisissa rakennuksissa. Tähän syynä ovat hirsirakenteiden hyvä hengittävyys ja sisäilman kosteutta tasaava puumateriaali. Puun ollessa kosteusturvallinen materiaali, se lisää myös rakennuksen käyttöikää ja on siksi hyvä valinta rakennusmateriaaliksi. Mikäli hirsirakenne on tarpeeksi paksu, seinään ei tarvitse suunnitella lisäeristeitä, joiden kosteusominaisuudet voivat olla huonommat kun hirsipuulla ja näin ollen kosteusvaurion riski on suurempi.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin hirsirakenteiden ominaisuuksia ja asiota, joita tulee ottaa huomioon perinteisen pyöröhirsirakenteiden suunnittelussa. Hirsirakennuksen suunnittelussa suurin ero tyyppillisen puutalon suunnitteluun on hirsirakenteiden kosteuskäyttäytymisestä ja asettumisesta aiheutuvan painumisen hallitseminen. Kun hirsirakennuksen laajennusta ollaan suunnittelemassa, tulee kiinnittää huomiota siihen, että vanha rakenne on jo asettunut, ja siksi uuden ja vanhan rakennusosan liitoskohdissa tulee mahdollistaa uuden rakenteen eläminen ja painuminen, kuitenkin poistamatta rakenteen tiiveyden mahdollistamista.

Kun hirsirakenteen kestävyyttä mitoitetaan, tulee varmistaa seinän jäykistys vaarnatap-pien, tarvittavin karapuiden ja ristinurkkien avulla, sillä hirsiseinällä itsessään ei ole nurjahduskestävyyttä. Hirsiseinän kestävyyttä tarkastellessa mitoittavaksi tekijäksi muodostuu usein tukipaine, sillä hirsiseinä itsessään on hyvin kestävä rakenne.

Perustuksien ja seinärakenteen liitoskohtaan on hyvä tehdä tasausvalu, jotta hirsiseinärakenne saa tukevan pohjan ja hirren asettumisesta ja painumisesta ei aiheudu seinärakenteelle haitallisia muodonmuutoksia.

LÄHTEET

DigituoteTV 2016. Hirsitalon rakentaminen: kattorakenne. <https://www.youtube.com/watch?v=cjFwXR0KFQ> Viitattu 2.11.2021

Puuinfo 2020a. Hirsiliitosdetaljit. Viitattu 10.6.2021 <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/hirsiliitosdetaljit/>

Puuinfo 2020b. Ominaispiirteitä. Viitattu 6.4.2021 <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/ominaispiirteita/>

Puuinfo 2020c. Perustukset. Viitattu 1.11.2021 <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/perustukset/>

Puuinfo 2020d. Seinien jäykistys. Viitattu 7.7.2021 <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/seinien-jaykistys/>

Puuinfo 2020e. Seinän ominaisuudet. Viitattu 7.7.2021 <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/seinan-ominaisuudet/>

PuuProffa 2021. Vaarnaus. Lahti: Pro Puu -keskus. Viitattu 20.10.2021 <https://puuproffa.fi/liitosten-arkki/hirsiliitokset/salvokset/vaarn/>

Puuproffa 2021, Liitosten arkki, Hirsiliitokset, Hirren jatkamine. <https://puuproffa.fi/liitosten-arkki/hirsiliitokset/hirren-jatkaminen/> Viitattu 20.10.2021

RT 82-11168. 2014. Hirsitalon suunnitteluperusteet. Ohjekortti. Rakennustieto Oy

RT 82-10868. 2006. Pientalon kivirakenteet. Ohjekortti. Rakennustieto Oy.

RT 81-10854. 2005. Pientalon Perustukset ja alapohjien liittymät. Ohjekortti. Rakennustieto Oy.

RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Siikanen, Unto- Puurakentaminen- 2. uudistettu painos- Rakennustieto Oy.

Perälä, Osmo- Hirren veisto. 4. painos.

Kattopalkkien kestävyys

Lähtötiedot

$$L := 3 \text{ m}$$

$$\alpha_k := 11^\circ$$

$$CC1 \quad \rightarrow \quad K_{FI} := 0.9$$

Harjapalkki C24 48 x 175

$$b := 50 \text{ mm} \quad \rho_{mean} := 4.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$h := 200 \text{ mm}$$

$$k := 900 \text{ mm}$$

Käyttöluokka 2

Keskipitkä aikaluokka

$$\rightarrow k_{mod} := 0.8$$

$$\gamma_M := 1.3$$

Sahatavara

$$L_{hp} := 3.2 \text{ m}$$

Harjapalkin pituus

$$f_{m,k} := 24 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 14.769 \text{ MPa}$$

$$\rho := 460 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{avta} := 2.5 \text{ cm}$$

MRT-kuormat

$$s_k := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \mu_1 := 0.8 \quad C_e := 1.0$$

$$q_{k,lumi} := s_k \cdot C_e \cdot \mu_1 = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{k,palkki} := b \cdot h \cdot \rho_{meam} = 0.042 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k,yp} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_k := g_{k,palkki} + g_{k,yp} \cdot k = 0.492 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{Ed,1} := 1.15 \cdot K_{FI} \cdot g_k + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot q_{k,lumi} \cdot k = 2.939 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{Ed,2} := (1.35 \cdot K_{FI} \cdot g_k) = 0.598 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{Ed} := \max(p_{Ed,1}, p_{Ed,2}) = 2.939 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Taivutusjännitys

$$k_m := 0.7$$

Sahatavara ja suorakaidepoikkileikkaus

$$W := \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$M_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot L_{tp}^2}{8} = 3.762 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{Ed}}{W} = 11.287 \text{ MPa}$$

Taivutuskestävyyden käyttöaste

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = 0.764 < 1$$

Palkeilla ei ole z-suuntaista kuormaa, joten taivutuskestävyyden ehto taipuu kyseiseen muotoon.

Harjapalkin kiepahduskestävyys

Kohteessa harjapalkin päälle asennetaan umpilaudoitus, eli palkkien kiepahdus on estetty koko matkaltaan, joten kerroin $k_{crit} = 1,0$.

$$k_{crit} := 1.0$$

$$\rightarrow \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = 0.764 < 1$$

Leikkausvoima

$$V_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot L}{2} = 4.409 \text{ kN}$$

Leikkauskestävyys

$$f_{v,k} := 4 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.462 \text{ MPa}$$

$$A := b \cdot h = (1 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A} = 0.661 \text{ MPa}$$

Leikkauskestävyyden käyttöaste

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 0.269 < 1$$

Harjapalkin tukipainekestävyys

$$f_{c,90,k} := 2.5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1.538 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} := 21 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 12.923 \text{ MPa}$$

$$R_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot L}{2} = 4.409 \text{ kN}$$

$$l := 100 \text{ mm}$$

$$A_{tukki} := l \cdot b = 0.005 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} := \frac{R_{Ed}}{A_{tukki}} = 0.882 \text{ MPa}$$

$$k_{c,90} := 1.25$$

Sahatavaralle

$$\alpha := 79^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} := \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin(\alpha)^2 + (\cos(\alpha))^2} = 1.985 \text{ MPa}$$

Leimapainekestävyyden käyttöaste

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = 0.444 < 1$$

Hirsiseinän kestävyys**Lähtötiedot**

$$L := 6.5 \text{ m}$$

$$f_{c,90,k} := 1 \text{ MPa}$$

$$b_{ef} := 0.5 \cdot 170 \text{ mm} = 85 \text{ mm} \quad 170 \text{ mm pyöröhirren tehollinen paksuus}$$

Ristinurkan kestävyys

$$F_{ristinurkka} := 600 \text{ mm} \cdot f_{c,90,k} \cdot b_{ef} = 51 \text{ kN}$$

Seinähirren kestävyys

$$F_{seinähirsi} := f_{c,90,k} \cdot 4000 \text{ mm} \cdot b_{ef} = 340 \text{ kN}$$

Koko hirsiseinän kestävyys

$$F_{seinä} := 2 \cdot F_{ristinurkka} + F_{seinähirsi} = 442 \text{ kN}$$

Esimerkkikohteen hirsiseinän kestävyys jakautuvalle kuormalle on

$$F_{seinä} := \frac{F_{seinä}}{L} = 68 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$